

Опыт применения



От партнеров программы Natural Gas STAR

REPLACING WET SEALS WITH DRY SEALS IN CENTRIFUGAL COMPRESSORS

ЗАМЕНА ВЛАЖНЫХ УПЛОТНИТЕЛЕЙ НА СУХИЕ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРАХ

АННОТАЦИЯ

Центробежные компрессоры широко используются при добыче и транспортировке природного газа. Сальниковые уплотнения на вращающихся валах предотвращают утечки природного газа, находящегося под высоким давлением, из корпуса компрессора. Традиционно в уплотнителях в качестве барьера, преграждающего утечку газа, использовалось масло, нагнетаемое под высоким давлением. Партнеры программы Natural Gas STAR обнаружили, что замена этих "влажных" (масляных) уплотнителей на сухие значительно снижает эмиссию метана и эксплуатационные расходы.

Эмиссия метана через влажные уплотнители обычно изменяется от 40 до 200 фут.³/мин. (от 1,13 до 5,6 м³/мин.). Большая часть выбросов приходится на время освобождения циркулирующего масла от газа, абсорбированного под высоким давлением на поверхности уплотнителей. Сухие уплотнители, использующие газ высокого давления для герметизации компрессоров, пропускают меньше метана (до 6 фут.³/мин. (0,16 м³/мин.)), имеют более низкое энергопотребление, улучшают работу и эффективность эксплуатации компрессоров и трубопроводов, повышают надежность компрессора и требуют значительно меньшего объема технического обслуживания.

Хотя сухие уплотнители невозможно установить на некоторых компрессорах ввиду конструкции корпуса или эксплуатационных требований, партнеры должны отдавать предпочтение сухим уплотнителям перед "влажными" всякий раз при замене или установке центробежных компрессоров там, где это возможно. Сухие уплотнители могут обеспечить экономию до \$135 000 в год и окупиться за 14 месяцев. Один из партнеров программы Natural Gas STAR, установивший сухой уплотнитель на действующий компрессор, сообщает об уменьшении суточной эмиссии на 97 процентов, т.е. от 75 до 2 тыс. фут.³ (от 2 123 м³

Источник эмиссии	Ежегодный объем потерянного газа, тыс.фут. ³ (тыс. м ³)	Метод сокращения потерь газа	Стоимость сохраненного газа, \$/год	Стоимость выполнения работ, \$/год	Окупаемость
Влажные (масляные) уплотнители	45 120 ¹	Установка сухих уплотнителей	240 000	135 360 ²	14 месяцев

до 56,6 м³) и экономии почти \$80 000 в год на одном газе.

¹ Основано на разнице между типовыми нормами проветривания влажных и сухих уплотнителей (т.е. 100 фут.³/мин. (2,8 м³/мин.) в сравнении с 6 фут.³/мин. (0,1 м³/мин.) на "балочном" типе компрессора, работающего 8 000 часов/год.

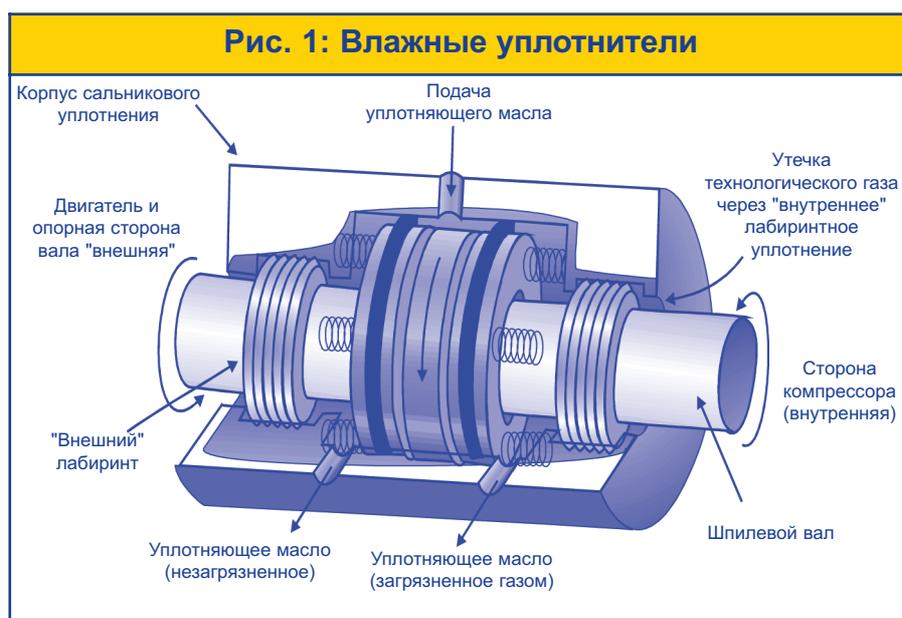
² Стоимость газа = \$3/тыс. фут.³ (\$106/ тыс. м³)

³ Основано на замене полностью функционирующих влажных уплотнителей при дополнительном снижении затрат на ТО в размере \$73 000.

Настоящий документ - один из отчетов серии "Опыт применения", разработанной EPA в сотрудничестве с газовой отраслью в рамках проектов программы Natural Gas STAR.

Влажные уплотнители

Центробежным компрессорам необходимы уплотнения вокруг вращающегося вала для предотвращения утечки газа на месте выхода вала из корпуса компрессора. Более распространенный тип компрессоров на балочном креплении, "балочный", имеет два сальниковых уплотнения, по одному на каждом конце компрессора, в то время как компрессоры "навесного" типа имеют только один, "внутренний", сальник (со стороны двигателя). Как показано на рис.1, эти уплотнители используют масло, циркулирующее под высоким давлением между тремя кольцами вокруг вала компрессора, формируя барьер для утечки сжатого газа. Центральное кольцо закреплено на вращающемся валу, в то время как два кольца с каждой стороны прикреплены стационарно к корпусу и прижаты тонкой пленкой масла, протекающего между двумя кольцами, для обеспечения смазки и ограничения утечек. "О-образные" резиновые уплотнители предотвращают появление утечки вокруг неподвижных колец. Только очень небольшой объем газа просачивается через масляный барьер, значительно больше газа поглощается маслом при высоком давлении "внутренним" уплотнением (со стороны компрессора) на поверхности раздела масла и газа и, таким образом, происходит загрязнение уплотняющего масла. Абсорбированный газ выдувается из масла (с применением нагревателей, сепараторов-разделителей и технологий дегазации), и оно вновь направляется для рециркуляции. Извлеченный метан, как правило, выпускается в атмосферу.



Сухие уплотнители

Механические сухие уплотнители являются альтернативой традиционным влажным (масляным) системам сальниковых уплотнений. Действие данных систем не основано на циркуляции уплотняющего масла. Сухие уплотнители функционируют механически под воздействием противодействующих сил, создаваемых гидродинамическими углублениями и статическим давлением.

Как показано на рис. 2а и 2b, гидродинамические углубления вытравлены на поверхности вращающегося кольца, прикрепленного к валу компрессора. Когда компрессор не вращается, стационарное кольцо на передней части корпуса прижато к вращающемуся кольцу пружинами. Когда вал компрессора

вращается с высокой скоростью, то для сжатого газа остается только один путь движения: вниз по валу и далее между вращающимися и неподвижными кольцами. Этот газ прокачивается между колец выемками на вращающемся кольце.

Противодействующие силы газа высокого давления, прокачиваемого между кольцами и пружинами, пытающимися вытолкнуть кольца, вместе создают очень тонкий зазор между кольцами, через который может просачиваться лишь небольшой объем газа. Во время работы компрессора кольца не контактируют друг с другом и поэтому не изнашиваются и не нуждаются в смазке. Уплотнительные кольца герметизируют стационарные кольца в корпусе сальника.

Рис. 2 а. Сухие уплотнители

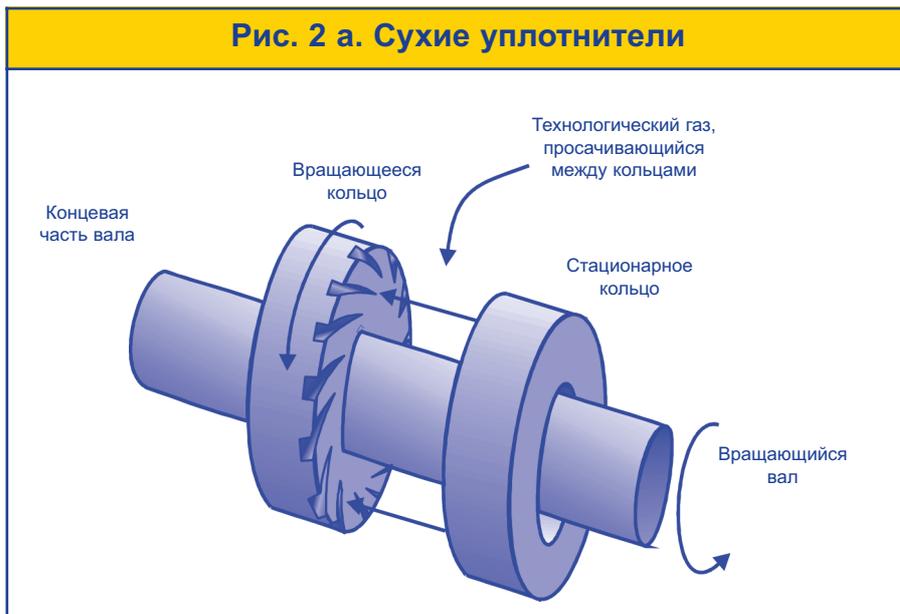


Рис. 2 в. Сухие уплотнители



Экономические и экологические выгоды

Серийная установка двух или более сухих уплотнителей, как показано на рис. 2 b, называется "двойным сухим уплотнителем" и является очень эффективным методом снижения утечек. Такой тип уплотнения имеет менее 1% утечек, которые при установленных системах влажных уплотнителей выпускаются в атмосферу, и более экономичен в эксплуатации.

Сухие газовые уплотнители существенно уменьшают эмиссию метана. В то же самое время они значительно снижают эксплуатационные расходы и увеличивают эффективность работы компрессора. Экономические и экологические выгоды от применения сухих уплотнителей включают следующее.

- ★ Интенсивность утечки газа. В течение нормального периода эксплуатации объем утечек через каждый сухой уплотнитель изменяется от 0,5 до 3 фут.³/мин. (от 0,01 до 0,08 м³/мин.) в зависимости от размера уплотнителя и рабочего давления. Хотя данное значение эквивалентно интенсивности утечек через поверхности влажных уплотнителей, надо учитывать, что при установленных влажных уплотнителях происходит дополнительная эмиссия от дегазации циркулирующего масла. Обычно газ из масла выпускается в атмосферу, удваивая общий объем утечек через уплотнители, и составляет 40-200 фут.³/мин. (1,1- 5,6 м³/мин.), в зависимости от размера и рабочего давления компрессора.
- ★ Упрощенность механической конструкции. Системы сухих уплотнителей не требуют установки сложных компонентов, обеспечивающих циркуляцию масла, и устройств по его обработке.
- ★ Снижение энергопотребления. Ввиду того, что для сухих уплотнителей не требуется дополнительных насосных систем для циркуляции масла, при их установке нет "побочного" оборудования, потребляющего электроэнергию и, следовательно, нет потерь электроэнергии. Системы влажных уплотнителей потребляют от 50 до 100 кВтч электроэнергии, в то время как системам сухих уплотнителей достаточно 5 кВтч.
- ★ Повышенная надежность. Большая часть простоев компрессора с влажными уплотнителями обусловлена проблемами в системе уплотнений. Системы сухих уплотнителей имеют меньшее число вспомогательных узлов, что и обеспечивает повышение общей надежности и снижение количества простоев компрессора.
- ★ Меньший объем ТО. Системы сухих уплотнителей имеют низкие затраты на ТО по сравнению с системами влажных уплотнителей, так как у них отсутствуют подвижные детали, обязательные при циркуляции масла (например, насосы, клапаны управления, перепускные клапаны).
- ★ Исключение утечек масла из влажных уплотнителей. Замена влажных уплотнителей на сухие исключает утечку уплотняющего масла в трубопровод и тем самым не происходит загрязнения газа и ухудшения технических характеристик трубопровода.

Принятие решения

Обычно при рассмотрении вопроса установки сухих уплотнителей партнеры программы сталкиваются с тремя следующими ситуациями: полная замена компрессора; замена изношенных влажных уплотнителей на работающем компрессоре; замена влажных уплотнителей в рабочем состоянии на работающем компрессоре. Около 90% новых компрессоров оснащены сухими уплотнителями. При покупке нового компрессора обязательно убедитесь в наличии сухих уплотнителей.

При проведении анализа замены влажных уплотнителей на работающем компрессоре сбережения от сокращения эмиссии должны учитываться наряду с капитальными и эксплуатационными затратами и получаемыми выгодами. Экономические показатели замены влажных уплотнителей весьма убедительны, и партнеры должны производить подобные замены там, где это возможно. Процесс принятия решения, приведенный ниже, является руководством при выборе компрессоров для осуществления замены влажных уплотнителей на сухие и расчете прибыли и затрат на данные действия.

Четыре этапа по установке сухих уплотнителей:

1. Выявление компрессоров-кандидатов для замены системы уплотнений.
2. Оценка экономии при установке сухих уплотнений.
3. Определение стоимости переоснащения.
4. Анализ затрат и прибыли.

Этап 1: Выявление компрессоров-кандидатов для замены систем уплотнений. Операторы должны произвести инвентаризацию и техническую оценку всех имеющихся компрессоров. Следует учитывать такие показатели, как тип компрессора, состояние арматуры и рабочие условия. Все компрессоры, работающие на влажных уплотнителях, должны быть учтены, и их состояние оценено для осуществления замены. При определении компрессоров-кандидатов на замену следует учитывать следующее:

- ★ Безопасная установка сухих уплотнителей возможна на компрессорах, работающих при давлении 3 000 фунт/дюйм² (20,6 МПа); обычный режим - 1 500 фунт/дюйм² (10,3 МПа). Однако сухие уплотнители могут быть небезопасны при более высоком давлении. Недопустимо применение сухих уплотнений при температурах выше 300-400 F (149-204°C) (из-за ограничений по материалу изготовления уплотнительных колец)¹. Некоторые модели компрессоров не допускают переоснащения на сухие уплотнители.
- ★ Некоторые устаревшие модели компрессоров могут оказаться на пределе своего срока эксплуатации, и поэтому их лучше рассматривать в качестве кандидатов на полную замену. Данное решение обычно принимается при планировании основного капитального ремонта, когда проектируемые затраты на эксплуатацию и ТО устаревшего компрессора намного превышают подобные издержки на содержание новой установки. На данном этапе поводом к этому может послужить неожиданный рост частоты и объемов непредусмотренного ТО, отсутствие запчастей или технического персонала.

Центробежные компрессоры, отвечающие требованиям *Этапа 1*, должны быть рассмотрены далее по другим позициям.

Этап 2: Оценка экономии при установке сухих уплотнителей. Основная экономия средств от замены влажных уплотнителей на сухие обусловлена сокращением потерь из-за утечки метана. Для оценки экономии партнеры могут произвести измерения потерь метана из компрессоров, оснащенных влажными уплотнителями, в местах выпуска газа из установок дегазации уплотняющего масла, используя метод отбора в газосборные емкости.

¹John Stahley, Dresser-Rand Co.

Небольшой объем газа улетучивается через поверхность уплотнителя и составляет менее 10% эмиссии из установки дегазации уплотняющего масла, но его замер затруднен. Обычный объем утечек через увлажненные уплотнители компрессоров балочного крепления изменяется от 40 до 200 фут.³/мин. (1,1- 5,6 м³/мин.).

На рис. 3 приведено сравнение проектируемых потерь от систем сухих уплотнителей и таблица рабочих характеристик, прилагаемая поставщиком данных систем. В качестве примера рассматривается установка сдвоенных уплотнителей с объемом утечек от 0,5 до 3 фут.³/мин. (0,08 м³/мин.), при штоках компрессора 1,5 -10 дюймов (38 - 254 мм) и рабочем давлении 580 - 1 300 фут./дюйм² (3,9 - 8,9 МПа). Замена влажных уплотнителей на установку сдвоенных сухих уплотнителей может обеспечить сокращение эмиссии в пределах 34 -194 фут.³/мин. (0,9 5,4 м³/мин.). Данное значение эквивалентно объему 16 320 - 93 120 тыс. фут.³ (462 - 2637 тыс. м³) за 8 000 часов годовой эксплуатации при \$48 960 -\$279 360 общей экономии денежных средств.



Данный процесс применим ко всем моделям компрессоров. Менее используемые навесные компрессоры имеют один уплотнитель, и его замещение на сухой тип дает только половину экономии, возможную при переоснащении компрессоров "балочного" типа. Кроме экономии газа сухие уплотнители обеспечивают снижение затрат на ТО и эксплуатацию. Затраты на ТО систем сухих уплотнителей варьируются в диапазоне \$6 000 - \$10 000 в год. Детальное сравнение затрат на ТО влажных и сухих уплотнителей рассмотрено в работе Uptigrove и др., 1987. На рис. 4 приведены итоговые расчеты для компрессоров с диаметром штока 7,5 дюймов (191 мм) и эксплуатируемых 8 000 часов в год.

Рис. 4: Годовая экономия затрат на ТО компрессора с сухими уплотнителями¹

1. Снижение потерь мощности по уплотнителям = \$13 900.
2. Снижение потерь при прокачке масла/работе вентилятора = \$4 000.
3. Увеличение пропускной способности трубопровода = \$26 600.
4. Снижение потерь масла = \$3 500.
5. Уменьшение времени простоя при ТО = \$15 000.

Общая экономия = \$63 000.

¹S.O. Uptigrove и др.

Предусмотренные в расчетах особенности по участкам применения включают: (1) потери от гидродинамического сопротивления влажных и сухих уплотнителей, (2) мощность насоса подачи уплотняющего масла и вентилятора охлаждения, (3) мощность компрессора, (4) расход уплотняющего масла и (5) годовые затраты на аварийный и плановый ремонт.

Этап 3: Определение стоимости переоснащения. Стоимость системы сухого уплотнителя определяется величиной рабочего давления, диаметром штока, скоростью вращения и другими особенностями установки. Стоимость уплотнителя обычно составляет \$5 000 - \$6 000 на дюйм диаметра штока при влажных уплотнителях и \$8 000 - \$10 000 на дюйм системы двойного сухого уплотнителя. Эти издержки удваиваются при переоснащении компрессоров “балочного” типа (два уплотнителя).

Прочие издержки включают работы по проектированию, установке и использованию вспомогательного оборудования. Сухие уплотнители требуют наличия пульта управления потоками газа, фильтрационных устройств и аппаратуры контроля, в то время, как для влажных уплотнителей необходимы насосы прокачки уплотняющего масла, вентиляторы охлаждения, установки дегазации и контроля. Стоимость системы определяется особенностью места размещения оборудования и его типа, частотой контроля и наличием компонентов и варьируется в пределах \$30 000 - \$100 000 для сухих уплотнителей и \$200 000 для влажных уплотнителей. Стоимость вспомогательного оборудования одинакова для компрессоров с одинарным и двойным уплотнителем.

Этап 4: Анализ затрат и прибыли. Простое сравнение стоимости замены влажных уплотнителей компрессора на сухие демонстрирует наличие большой экономии средств за пятилетний период эксплуатации. На рис. 5 приведен пример на основе стоимости *Этапов 2 и 3* для “балочного” типа компрессора с диаметром штока 6 дюймов (152,4 мм) и годовой наработкой 8 000 часов.

Рис. 5: Сравнение стоимости замены уплотнителей для компрессора “балочного” типа со штоком 6 дюймов (152,4 мм)		
Категория затрат	Сухой уплотнитель, \$	Влажный уплотнитель, \$
Стоимость выполнения работ ¹		
Стоимость двух уплотнителей (2 сухих при \$10 000/шток-дюйм, с тестированием)	120 000	
Стоимость уплотнителя (2 влажных при \$5 000/шток-дюйм)		60 000
Другие издержки (проектирование, установка оборудования)	120 000	0 ²
Общая стоимость выполнения работ	240 000	60 000
Ежегодное ТО ³	10 000	73 000
Годовая эмиссия метана ⁴ (при \$3/тыс. фут. ³ (\$106/тыс. м ³); 8 000 час./год) 2 сухих уплотнителя при общей эмиссии 6 фут. ³ /мин. (0,17 м ³ /мин.) 2 влажных уплотнителя при общей эмиссии 100 фут. ³ /мин. (2,8 м ³ /мин.)	8 640	144 000
Общая стоимость за 5 лет, \$	333 200	1 145 000
Общая экономия по сухим уплотнителям за 5 лет: Экономия, \$ Сокращение эмиссии метана (тыс.фут. ³) (при 45 120 тыс.фут. ³ /год (1278 тыс.м ³ /год))	818 000 225 600	
1. Flow Serve Corporation. 2. Повторное использование уплотняющего масла, дегазация, аппаратура управления. 3. Из рис. 4, предполагая ту же стоимость ТО, как и при штоке 7,5 дюйма. 4. На основе типовых объемов проветривания.		

В данном примере стоимость выполнения работ по установке сухих уплотнителей включает стоимость, как самого уплотнения, так и доведения сухого газа до требуемых параметров, мониторинг процесса и установку пульта управления. Для влажных уплотнителей циркулирующее уплотняющее масло, дегазация и устройства охлаждения используются повторно и поэтому учтена только стоимость замены уплотнителя.

Экономические показатели данного метода хорошо иллюстрируются в приведенной ниже таблице потока денежных средств за пятилетний период. Приведенный анализ учитывает капитальные затраты, сокращение эмиссии метана, затраты на эксплуатацию и ТО, а также ликвидационную стоимость системы влажных уплотнителей. Важно заметить, что подобный анализ специфичен для каждого конкретного случая, но экономические показатели замены на сухие системы уплотнителей очень привлекательны для компаний, и поэтому им следует произвести замену всех влажных систем уплотнителей независимо от срока их эксплуатации. На рис. 6 а представлены экономические показатели замены полностью функционирующей системы влажного уплотнителя на систему сухого уплотнителя.

Рис. 6а: Экономические показатели замены полностью функционирующей системы влажного уплотнителя на новую систему сухого уплотнителя

Установка сухих уплотнителей на компрессоры "балочного" типа со штоком 6 дюймов (152,4 мм) с наработкой 8 000 часов в год при полностью функционирующих влажных уплотнителях.

Стоимость и затраты, \$	0 год	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Капитальные затраты и затраты на установку сухих уплотнителей	(240 000)					
Годовое сокращение эмиссии метана ¹		135 360	135 360	135 360	135 360	135 360
Годовые затраты на ТО сухих уплотнителей		(10 000)	(10 000)	(10 000)	(10 000)	(10 000)
Ликвидационная стоимость влажных уплотнителей	20 000					
Исключенные издержки на ТО влажных уплотнителей	73 000	73 000	73 000	73 000	73 000	73 000
Итого в год	(220 000)	198 360				

NPV (Чистая приведенная стоимость)²=\$531 940

IRR (Внутренняя норма рентабельности)=86%

Период окупаемости³=14 месяцев

¹Годовая экономия представлена как разница потерь газа через новые сухие уплотнители и замененные влажные уплотнители при цене газа \$3/тыс. фут.³ (\$106/тыс. м³).

²Чистая приведенная стоимость основана на ставке дисконта 10% на период 5 лет.

³Период окупаемости варьируется от 8 до 24 месяцев при объемах утечек, характерных для влажных уплотнителей в пределах 200 - 40 фут.³/мин. (5,6 - 1,1 м³/мин.).

На рис. 6 б представлены экономические показатели замены старых влажных уплотнителей, работающих на пределе срока эксплуатации: ликвидационная стоимость равна нулю и годовые затраты на ТО систем влажных уплотнителей увеличиваются (на этом примере до \$100 000 в год). Два приведенных примера подтверждают, что замена влажных уплотнителей на сухие может быть экономически эффективной независимо от срока эксплуатации и технического состояния системы влажного уплотнителя.

Рис. 6б: Экономические показатели замены устаревших влажных уплотнителей на новую систему сухих уплотнителей

Установка сухих уплотнителей на компрессоры "балочного" типа со штоком 6 дюймов (152,4 мм.) с наработкой 8 000 часов в год при полностью функционирующих влажных уплотнителях.

Стоимость и затраты, \$	0 год	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Капитальные затраты и затраты на установку сухих уплотнителей	(240 000)					
Годовое сокращение эмиссии метана ¹		135 360	135 360	135 360	135 360	135 360
Годовые затраты на ТО сухих уплотнителей		(10 000)	(10 000)	(10 000)	(10 000)	(10 000)
Ликвидационная стоимость влажных уплотнителей	20 000					
Исключенные издержки на ТО влажных уплотнителей		100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Итого в год	(220 000)	225 360				

NPV (Чистая приведенная стоимость)²=\$614 292

IRR (Внутренняя норма рентабельности)=90%

Период окупаемости³=13 месяцев

¹Годовая экономия представлена как разница потерь газа через новые сухие уплотнители и замененные влажные уплотнители при цене газа \$3/тыс. фут.³ (\$106/ тыс. м³).

²Чистая приведенная стоимость основана на ставке дисконта 10% на период 5 лет.

³Период окупаемости колеблется от 8 до 24 месяцев при объемах утечек, характерных для влажных уплотнителей в пределах 200 - 40 фут.³/мин. (5,6 - 1,1 м³/мин).

Партнеры могут получить значительную экономию средств и сократить эмиссию метана, переоснащая компрессоры на использование технологии сухих уплотнителей. Партнеры программы могут предложить следующие рекомендации по замене уплотнителей, основанные на собственном опыте.

- ★ Сухие уплотнители считаются более безопасными в работе по сравнению с влажными, так как не требуют наличия масляных систем высокого давления.
- ★ Для повышения эффективности процесса переоснащения компрессоров на системы сухих уплотнителей его следует планировать на периоды планового отключения, чтобы исключить перерыв в работе компрессора.
- ★ При расчете экономии при установке сухих уплотнителей партнерам следует учитывать, что правильно установленные и эксплуатируемые сухие уплотнители служат в два раза дольше, по сравнению с влажными.
- ★ Если срок службы влажного уплотнителя на исходе, то прямой анализ затрат по новым системам уплотнителей указывает на предпочтительную установку сухих систем. Даже, если срок службы используемой системы влажных уплотнителей не истек, рабочие характеристики сухих систем уплотнителей обеспечат значительную экономию средств и оправдают преждевременную замену.
- ★ При явной экономической привлекательности систем сухих уплотнителей их установку следует производить там, где это технически возможно.
- ★ На данный момент 90% новых компрессоров оснащены системами сухих уплотнителей. Технологию сухих уплотнителей следует рассматривать как вариант для всех новых типов компрессоров.
- ★ После замены влажных уплотнителей на сухие необходимо регистрировать сокращение эмиссии и включать данные в ежегодные отчеты по программе Natural Gas STAR.

Литература

Canadian Association of Petroleum Producers. *Options for Reducing Methane and VOC Emissions from Upstream Oil and Gas Operations*. December 1993.

Henderson, Carolyn. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.

Hesje, R.C. and R.A. Peterson. *Mechanical Dry Seal Applied to Pipeline (Natural Gas) Centrifugal Compressors*. American Society of Mechanical Engineering. Gas Turbine Conference and Exhibition. June 1984.

Kennedy, J.L. *Oil and Gas Pipeline Fundamentals, Second Edition*. Penn Well Books. 1993.

Klosek, Marty. Flowserve Corporation. Bridgeport, New Jersey. Personal contact.

Ronsky, N.Daryl; Harris, T.A.; Conquergood, C.Peter; and Davies, I. *An Effective System for Sealing Toxic Gases in Centrifugal Compressors*. American Society of Mechanical Engineers Gas Turbine Conference and Exhibition. June 1987.

Sears, John. Personal contact.

Stahley, John. Dresser-Rand Company. Olean, New York. Personal contact.

Tingley, Kevin. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.

Uptigrove, S.O.; Harris, T.A.; and Holzner, D.O. *Economic Justification of Magnetic Bearings and Mechanical Dry Seals for Centrifugal Compressors*. American Society of Mechanical Engineers Gas Turbine Conference and Exhibition. June 1987.



United States
Environmental Protection Agency
Air and Radiation (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPA430-B-03-012
Ноябрь 2003 г.